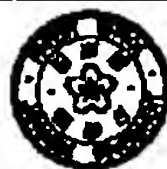


(19)



JAPANESE PATENT OFFICE

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **06061182 A**

(43) Date of publication of application: 04 . 03 . 94

(51) Int. Cl.

**H01L 21/302**  
**C23F 4/00**

(21) Application number: **04214257**

(22) Date of filing: 11 . 08 . 92

(71) Applicant: **MITSUBISHI ELECTRIC CORP**

(72) Inventor:  
**FUJIWARA NOBUO**  
**MARUYAMA TAKAHIRO**  
**KAWAI KENJI**  
**HOSHIKO TAKAHIRO**

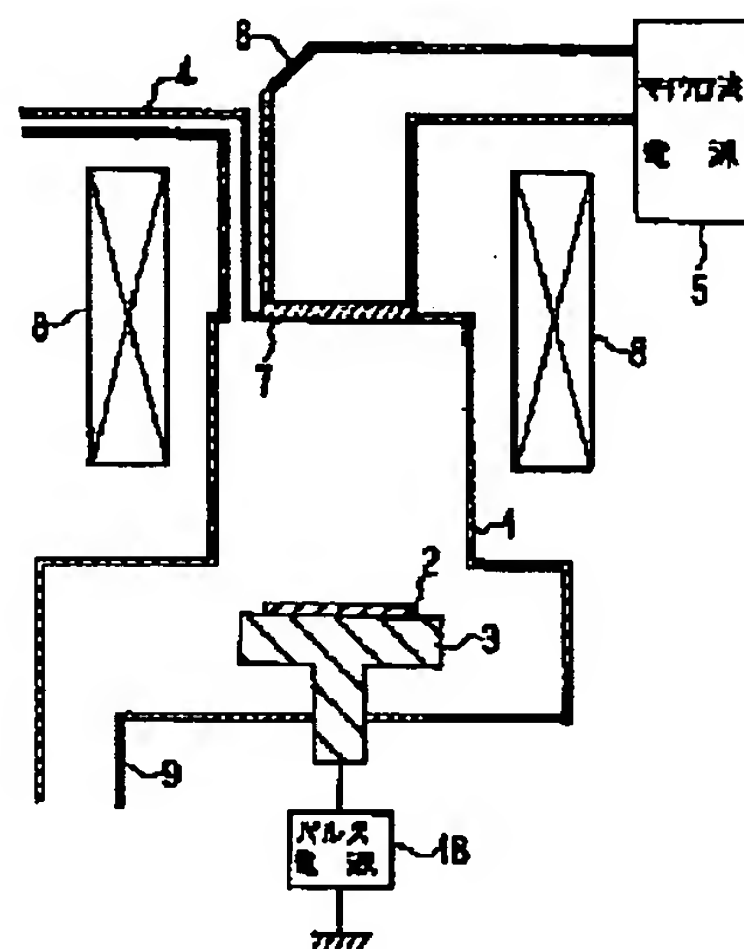
**(54) PLASMA ETCHING DEVICE**

**(57) Abstract:**

**PURPOSE:** To obtain a plasma etching device, where electric charge is restrained from being locally accumulated in a fine pattern to prevent notches from being generated, an etching operation can be carried out high in anisotropy and selection rate, and the periphery of a semiconductor wafer can be anisotropically etched well enough.

**CONSTITUTION:** A stage 3 where a semiconductor wafer 2 is placed is arranged in a reaction chamber 1, and a microwave power supply 5 which introduces microwaves into the reaction chamber 1 and a coil 8 which applies a magnetic field are arranged outside the reaction chamber 1. Furthermore, a pulse power supply 18 which applies a pulse bias voltage to the semiconductor wafer 2 through the intermediary of the stage 3 is provided. The pulse power supply 18 eliminates an ion sheath electric field to enable electrons to impinge even on the base of a fine pattern for the neutralization of positive charge, whereby notches are prevented from being generated.

**COPYRIGHT:** (C)1994,JPO&Japio



(51) IntCl. <sup>5</sup>	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
H 0 1 L 21/302	B	9277-4M		
C 2 3 F 4/00	D	8414-4K		
	G	8414-4K		

審査請求 未請求 請求項の数7 (全 13 頁)

(21) 出願番号 特願平4-214257

(22) 出願日 平成4年(1992)8月11日

(71) 出願人 000006013

三菱電機株式会社

東京都千代田区丸の内二丁目2番3号

(72) 発明者 藤原 伸夫

伊丹市瑞原4丁目1番地 三菱電機株式会  
社エル・エス・アイ研究所内

(72) 発明者 丸山 隆弘

伊丹市瑞原4丁目1番地 三菱電機株式会  
社エル・エス・アイ研究所内

(72) 発明者 川井 健治

伊丹市瑞原4丁目1番地 三菱電機株式会  
社エル・エス・アイ研究所内

(74) 代理人 弁理士 曾我 道照 (外6名)

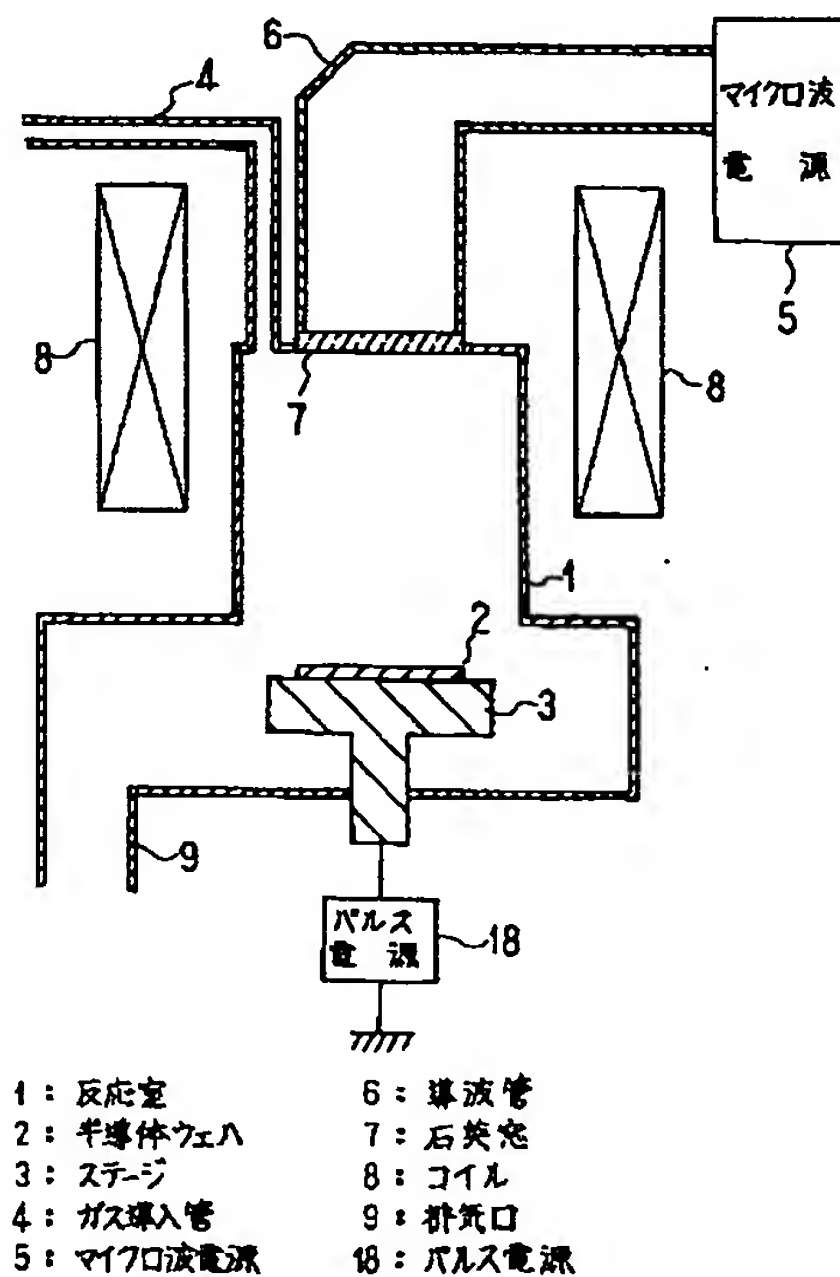
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 プラズマエッチング装置

(57) 【要約】

【目的】 この発明は、微細パターン内の局所的なチャージアップを防止してノッチの発生を防ぎ、異方性と選択比を共に向上させてエッチングを行うことができると共に、半導体ウエハの周辺部においても十分な異方性エッチングが行えるプラズマエッチング装置を得ることを目的とする。

【構成】 反応室1内には、半導体ウエハ2を載置したステージ3が配置され、反応室1の外部には、反応室1内にマイクロ波を導入するマイクロ波電源5及び磁場を印加するコイル8が配置されている。さらに、ステージ3を介して半導体ウエハ2にパルスバイアス電圧を印加するパルス電源18が設けられている。このパルス電源18によって、イオンシース電界を消失させて電子を微細パターン底部まで入射させ、正電荷を中和してノッチの発生を防止する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 試料を載置するステージと、このステージを内部に収容する反応室と、マイクロ波を発生するマイクロ波発生手段と、このマイクロ波発生手段で発生したマイクロ波を上記反応室に導く導波管と、上記反応室内に磁場を印加する磁場発生手段と、上記反応室内に反応性ガスを導入するガス導入管と、上記反応室内を排気する排気手段とを備え、電子サイクロトロン共鳴により上記反応性ガスのプラズマを形成し、このプラズマにより上記試料をエッチング処理するプラズマエッチング装置であって、

上記試料にパルスバイアス電圧を印加するパルス電源を設けたことを特徴とするプラズマエッチング装置。

【請求項2】 試料を載置するステージと、このステージを内部に収容する反応室と、マイクロ波を発生するマイクロ波発生手段と、このマイクロ波発生手段で発生したマイクロ波を上記反応室に導く導波管と、上記反応室内に磁場を印加する磁場発生手段と、上記反応室内に反応性ガスを導入するガス導入管と、上記反応室内を排気する排気手段とを備え、電子サイクロトロン共鳴により上記反応性ガスのプラズマを形成し、このプラズマにより上記試料をエッチング処理するプラズマエッチング装置であって、

上記マイクロ波発生手段は、パルス発振マイクロ波電源であることを特徴とするプラズマエッチング装置。

【請求項3】 試料を載置するステージと、このステージを内部に収容する反応室と、マイクロ波を発生するマイクロ波発生手段と、このマイクロ波発生手段で発生したマイクロ波を上記反応室に導く導波管と、上記反応室内に磁場を印加する磁場発生手段と、上記反応室内に反応性ガスを導入するガス導入管と、上記反応室内を排気する排気手段とを備え、電子サイクロトロン共鳴により上記反応性ガスのプラズマを形成し、このプラズマにより上記試料をエッチング処理するプラズマエッチング装置であって、

上記磁場発生手段は、2000 Gauss以上の磁場を発生し、かつ上記マイクロ波発生手段は、数ギガヘルツ～数千ギガヘルツのマイクロ波を発生することを特徴とするプラズマエッチング装置。

【請求項4】 試料を載置するステージと、このステージを内部に収容する反応室と、マイクロ波を発生するマイクロ波発生手段と、このマイクロ波発生手段で発生したマイクロ波を上記反応室に導く導波管と、上記反応室内に磁場を印加する磁場発生手段と、上記反応室内に反応性ガスを導入するガス導入管と、上記反応室内を排気する排気手段とを備え、電子サイクロトロン共鳴により上記反応性ガスのプラズマを形成し、このプラズマにより上記試料をエッチング処理するプラズマエッチング装置であって、

上記ステージの周囲に、強磁性体部材を設けたことを特

徴とするプラズマエッチング装置。

【請求項5】 試料を載置するステージと、このステージを内部に収容する反応室と、マイクロ波を発生するマイクロ波発生手段と、このマイクロ波発生手段で発生したマイクロ波を上記反応室に導く導波管と、上記反応室内に磁場を印加する磁場発生手段と、上記反応室内に反応性ガスを導入するガス導入管と、上記反応室内を排気する排気手段とを備え、電子サイクロトロン共鳴により上記反応性ガスのプラズマを形成し、このプラズマにより上記試料をエッチング処理するプラズマエッチング装置であって、

上記ステージの少なくとも試料を載置する面は、超電導体部材で構成され、この超電導体部材を所定の温度に冷却して超電導状態とする冷却手段を設けたことを特徴とするプラズマエッチング装置。

【請求項6】 試料を載置するステージと、このステージを内部に収容する反応室と、マイクロ波を発生するマイクロ波発生手段と、このマイクロ波発生手段で発生したマイクロ波を上記反応室に導く導波管と、上記反応室内に磁場を印加する磁場発生手段と、上記反応室内に反応性ガスを導入するガス導入管と、上記反応室内を排気する排気手段とを備え、電子サイクロトロン共鳴により上記反応性ガスのプラズマを形成し、このプラズマにより上記試料をエッチング処理するプラズマエッチング装置であって、

上記ステージを囲む上記反応室の側壁は、反磁性体部材で構成されていることを特徴とするプラズマエッチング装置。

【請求項7】 試料を載置するステージと、このステージを内部に収容する反応室と、マイクロ波を発生するマイクロ波発生手段と、このマイクロ波発生手段で発生したマイクロ波を上記反応室に導く導波管と、上記反応室内に磁場を印加する磁場発生手段と、上記反応室内に反応性ガスを導入するガス導入管と、上記反応室内を排気する排気手段とを備え、電子サイクロトロン共鳴により上記反応性ガスのプラズマを形成し、このプラズマにより上記試料をエッチング処理するプラズマエッチング装置であって、

上記ステージの側部には、反磁性体フォーカスリングが設けられていることを特徴とするプラズマエッチング装置。

## 【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 この発明は、プラズマエッチング装置、特に、電子サイクロトロン共鳴を利用したドライエッチング装置（ECRエッチング装置）に関するものである。

【0002】

【従来の技術】 図18は、従来のプラズマエッチング装置を示す概略構成図である。図において、反応室1内に

3

は、試料例えば半導体ウエハ2を載置、保持するステージ3が配置されている。反応室1の上部には、反応性ガスを反応室1内に導入するガス導入管4が設けられている。また、反応室1の外部には、マイクロ波を発生させるマイクロ波発生手段例えばマイクロ波電源5が設けられており、このマイクロ波電源5で発生した所定周波数のマイクロ波は、導波管6及び石英窓7を介して反応室1内に導入される。さらに、反応室1に設けられた石英窓7の外周には、磁場発生手段であるコイル8が設けられており、このコイル8によって、ステージ3上に載置された半導体ウエハ2の表面に対して垂直方向に、所定の磁束密度の磁場が印加される。なお、磁場発生手段は、コイルでも永久磁石であっても良い。また、反応室1の下方には、排気口9が設けられており、この排気口9に接続された真空ポンプ等の排気手段（図示しない）によって、反応室1内が真空排気されると共に所定の真空度に維持される。

【0003】従来のプラズマエッチング装置は上述したように構成され、半導体ウエハ2のエッチング処理を施すには、まず、反応室1内を真空排気し、続いて、排気を行いながら、ガス導入管4からハロゲンガス等の反応性ガスを導入し、反応室1内を所定の圧力に維持する。次に、マイクロ波電源5でマイクロ波を発生させ、発生したマイクロ波を導波管6及び石英窓7を介して反応室1内に導くと共に、コイル8によって反応室1内に磁場を印加する。この磁場とマイクロ波との共鳴により、サイクロトロン運動している電子はエネルギーを吸収し、この電子が反応性ガスに衝突することによって高密度プラズマが発生する。発生したプラズマは、コイル8により生じた磁力線に沿って半導体ウエハ2に向かって輸送され、半導体ウエハ2がエッチングされる。

【0004】プラズマに照射された半導体ウエハ2の表面には、プラズマ電位とフローティング電位との電位差によって、半導体ウエハ2に垂直な方向にいわゆるイオンシース電界が発生する。プラズマ中の正イオン（以下、単にイオンとする）は、イオンシース電界により加速されるため、半導体ウエハ2の表面に直進性良く入射し、半導体ウエハ2の表面に微細なパターンを形成することができる。このように、プラズマ中のイオンはイオンシース電界により加速されるため、方向性が揃って半導体ウエハ2に入射する。しかし、プラズマ中の電子は、イオンシース電界により減速されるため、方向性を持たずに半導体ウエハ2に入射する。

【0005】この様子を図19及び図20に基づいてさらに詳細に説明する。図19及び図20は、半導体ウエハ2の表面の拡大断面図であり、プラズマエッチング装置により半導体ウエハ2の微細パターンエッチングを行う際における、イオン及び電子の挙動を示している。まず、図19において、半導体ウエハ2の表面には、SiO<sub>2</sub>膜10、Si膜11及びレジストパターン12が順次

4

形成されており、レジストパターン12をマスクとしてエッチングが行われる。エッチングの進行に伴って、レジストパターン12の表面にはイオンも電子も共に入射するため、電気的中性が保たれている。微細パターン13内においては、イオンは半導体ウエハ2の表面に対して垂直に入射するため、微細パターン側壁14には衝突せず微細パターン底面15にまで到達する。これに対して、上述のように電子は方向性がないため、微細パターン側壁14にも入射するため、微細パターン底面15には到達し難くなる。

【0006】この場合、図19に示すように、Si膜11のように導電性の膜をエッチングする場合には、微細パターン底面15に入射したイオンと微細パターン側壁14に入射した電子とは膜中で再結合して中和するため、電気的中性が保たれる。ところが、図20に示すように、エッチングが進行し、SiO<sub>2</sub>膜10のような絶縁性の膜が露出すると、微細パターン底面15に入射したイオンは微細パターン側壁14に入射した電子と中和されず、微細パターン底面15は正にチャージアップしてしまう。一方、微細パターン側壁14は、入射した電子によって負にチャージアップする。従って、微細パターン底面15へ入射するイオンは、正にチャージアップした微細パターン底面15における正電荷の反発と、負にチャージアップした微細パターン側壁14における引力とにより軌道が曲げられるため、イオンはSi膜11とSiO<sub>2</sub>膜10との界面に局所的に入射し、切り欠き形状のいわゆるノッチを生じることになる。

【0007】このようなノッチの発生を防止するために、従来、図21に示すプラズマエッチング装置が用いられている。図21に示すプラズマエッチング装置では、ステージ3にインピーダンス整合器16を介してRF（高周波）電源17が接続されている。このRF電源17によって、半導体ウエハ2にRFバイアス電圧が印加され、イオンを加速しエネルギーを高めて半導体ウエハ2に入射させることが可能である。この装置によれば、イオンエネルギーが高いので上述したチャージアップによるイオンの軌道の曲がり小さくなり、従って、ノッチは発生し難くなる。ところが、イオンエネルギーが高いために、下地膜であるSiO<sub>2</sub>膜10までもエッチングしてしまい、エッチング選択比が下がってしまうという問題点があった。

【0008】また、図18に示すように、コイル8によって生ずる磁力線Bは、コイル8を中心として発散するため、半導体ウエハ2の表面の周囲では半導体ウエハ2に垂直とはならない。イオンは、イオンシース電界により加速されるので半導体ウエハ2に直進性良く入射するが、イオンは電子と反応性ガスとの衝突により生じるため、電子に追従するように磁力線Bに沿って進行する傾向もある。このため、半導体ウエハ2の周辺部においては、イオンは半導体ウエハ2に垂直に入射せず、充分な



異方性エッチングを行えないという問題点もあった。さらに、磁力線Bの分布は、半導体ウエハ2の周辺部では中央部に比べて疎となる。このため、半導体ウエハ2の中央部と周辺部とでプラズマ密度に差が生じ、エッチング速度に差が生じるため、エッチングの均一性が悪化するという問題点もあった。

【0009】

【発明が解決しようとする課題】 上述したようなプラズマエッチング装置では、以上のように微細パターン内の局所的なチャージアップによりノッチを生じ、エッチングの異方性が損なわれるという問題点があった。また、イオンエネルギーを高めることによってエッチングの異方性を維持しようとする、選択比が下がってしまい、異方性と選択比とを同時に向上させてエッチングを行うことが困難であるという問題点があった。さらに、コイルによる磁力線はコイルを中心に発散するため、半導体ウエハ2の周辺部において十分な異方性エッチングが行えず、エッチングの均一性が低下するという問題点もあった。

【0010】 この発明は、このような問題点を解決するためになされたもので、微細パターン内の局所的なチャージアップを防止してノッチの発生を防ぎ、異方性と選択比を共に向上させてエッチングを行うことができると共に、半導体ウエハの周辺部においても十分な異方性エッチングが行えるプラズマエッチング装置を得ることを目的とする。

【0011】

【課題を解決するための手段】 この発明の請求項第1項に係るプラズマエッチング装置は、試料にパルスバイアス電圧を印加するパルス電源を設けたものである。

【0012】 この発明の請求項第2項に係るプラズマエッチング装置は、マイクロ波発生手段として、パルス発振マイクロ波電源を備えたものである。

【0013】 この発明の請求項第3項に係るプラズマエッチング装置は、2000 Gauss以上の磁場及び数千ガヘルツ～数千ガヘルツのマイクロ波を印加するものである。

【0014】 この発明の請求項第4項に係るプラズマエッチング装置は、試料を載置するステージの周囲に、強磁性体部材を設けたものである。

【0015】 この発明の請求項第5項に係るプラズマエッチング装置は、ステージの少なくとも試料を載置する面を超電導体部材で構成し、この超電導体部材を所定の温度に冷却して超電導体状態とする冷却手段を設けたものである。

【0016】 この発明の請求項第6項に係るプラズマエッチング装置は、ステージを囲む反応室の側壁を、反磁性体部材で構成したものである。

【0017】 この発明の請求項第7項に係るプラズマエッチング装置は、ステージの側部に反磁性体フォーカス

リングを設けたものである。

【0018】

【作用】 この発明の請求項第1項においては、試料にパルスバイアス電圧が印加されるので、シース電界が消失し、電子が微細パターン底面にまで到達でき、微細パターン底面における正のチャージアップを中和してノッチの発生を防止する。

【0019】 この発明の請求項第2項においては、パルス発振マイクロ波電源によりマイクロ波を間欠的に供給するので、間欠的にイオンシース電界を弱めて微細パターン底面における正のチャージアップを抑制し、ノッチの発生を防止する。

【0020】 この発明の請求項第3項においては、強磁場コイルによって2000 Gauss以上の磁場及び数千ガヘルツ～数千ガヘルツのマイクロ波を印加するので、電子のラーマ半径が縮小し、電子が微細パターン底面に到達し易くなり、微細パターン底面における正のチャージアップを中和して、ノッチの発生を防止する。

【0021】 この発明の請求項第4項においては、ステージの周囲に強磁性体部材を設けたので、磁力線はイオンシース領域上で試料の中心から外側に曲げられ、微細パターン側壁に入射する電子が減少し、微細パターン側壁における負のチャージアップが減少し、ノッチの発生を防止する。

【0022】 この発明の請求項第5項においては、ステージの少なくとも試料を載置する面を超電導体部材で構成したので、磁力線は試料の表面で非常に急激に外側に曲げられ、微細パターン側壁に入射する電子が減少し、微細パターン側壁における負のチャージアップが減少し、ノッチの発生を防止する。

【0023】 この発明の請求項第6項においては、ステージを囲む反応室の側壁を反磁性体部材で構成したので、磁力線を試料の表面で均一にしかも試料に対して垂直な方向に向けることができ、プラズマ密度の均一性を向上する。

【0024】 この発明の請求項第7項においては、ステージの側部に反磁性体フォーカスリングを設けたので、磁力線を試料の表面で均一にしかも試料に対して垂直な方向に向けることができ、プラズマ密度の均一性を向上する。

【0025】

【実施例】 実施例1. 図1は、この発明の実施例1によるプラズマエッチング装置を示す概略構成図である。なお、各図中、同一符号は同一又は相当部分を示している。図において、半導体ウエハ2を載置するステージ3に、パルス電源18が接続されている。

【0026】 上述したように構成されたプラズマエッチング装置においては、半導体ウエハ2のエッチング処理を施すには、まず、反応室1内を真空排気し、続いて、排気を行いながら、ガス導入管4から反応ガスを導入

し、反応室1内を所定の圧力に維持する。次に、マイクロ波電源5でマイクロ波を発生させ、発生したマイクロ波を導波管6及び石英窓7を介して反応室1内に導くと共に、コイル8によって反応室1内に磁界を印加することによって、ガスプラズマを発生させる。同時に、ステージ3に接続されたパルス電源18によりパルス電圧を発生させ、ステージ3を介して半導体ウエハ2に正のパルスバイアス電圧を印加する。反応室1で発生したガスプラズマは、コイル8により生じた磁力線に沿って輸送され、このガスプラズマにより半導体ウエハ2がエッチングされる。

【0027】図2は、上述のようにして形成されたガスプラズマ中に置かれた半導体ウエハ2の表面に形成されるイオンシース電界を説明する線図である。すなわち、パルス電圧が印加されていない時( $t_2$ )、半導体ウエハ2の電位(基板電位 $V_s$ )は、プラズマの状態によって定まるフローティング電位( $V_f$ )と等しくなる。このフローティング電位とプラズマ電位( $V_p$ )との電位差により、イオンシース電界が形成される。なお、実施例1におけるイオンシース電界は、20Vであった。半導体ウエハ2には、ステージ3を介してパルス電源18により20V以上のパルス電圧が印加されているため、パルス電圧が印加されている時間 $t_1$ の間は基板電位が高まり、プラズマ電位と基板電位との電位差がなくなるのでイオンシース電界は消失する。すると、時間 $t_1$ の間は、プラズマ中の電子は半導体ウエハ2に自由に入射することができるので、電子は微細パターン底面15まで到達し、微細パターン底面15の正電荷を中和することができる。

【0028】図3は、実施例1によるプラズマエッチング装置を用いて図19及び図20に示した $SiO_2$ 膜10上のSi膜11をエッチングした際に、これらの膜の界面に発生するノッチ量(図20中のA)に対するパルス電圧オン/オフ時間比( $t_2/t_1$ )の依存性を示す線図である。なお、パルス電圧を印加する際の繰り返し周期( $t_1+t_2$ )は、0.1ミリ秒であった。この繰り返し周期は、半導体ウエハの容量、シース電界の抵抗によって決定される時定数であり、チャージアップがリークする時間に一致させたものであるが、半導体ウエハの種類、エッチング条件、チャージアップのリーク時間等により、適宜変更することができる。図3から判るように、パルス電圧印加時間 $t_1$ を長くして $t_2/t_1$ を小さくすることにより、ノッチ量は減少して行く。特に、 $t_2/t_1 < 1000$ においてノッチは全く観察されなくなる。これは、電子はイオンに比べて質量が小さく移動度が大きいので、電子流入時間である $t_1$ が $t_2$ の数百分の1以上であれば電荷を完全に中和することができるからである。

【0029】また、図3は、Si膜11と下地の $SiO_2$ 膜10とのエッチング選択比も示している。図21に示

したRFバイアス電圧の印加によりノッチ量を減少させる従来のプラズマエッチング装置では、イオンエネルギーが高まるために、ノッチを無くすためには選択比が20以下になってしまった。しかし、この発明の実施例1の装置では、正のパルスバイアスを加えるため、イオンエネルギーが高まらず選択比は100で一定であり、無バイアスの時の選択比と同じであった。

【0030】実施例2、図4は、この発明の実施例2によるプラズマエッチング装置を示す概略構成図である。この図4に示す装置は、従来のプラズマエッチング装置におけるマイクロ波電源5の代わりに、パルス発振マイクロ波電源19を設けたものである。このパルス発振マイクロ波電源19は、例えば10kHzの繰り返し周波数で間欠的にオン/オフしてマイクロ波を供給し、プラズマエッチング処理を行うものである。ガスプラズマ中に置かれた半導体ウエハ2の表面に形成されるイオンシース電界は、図5に示ようになる。すなわち、半導体ウエハ2の電位(基板電位 $V_s$ )は、プラズマの状態によって定まるフローティング電位( $V_f$ )と等しくなり、このフローティング電位( $V_f$ )とプラズマ電位( $V_p$ )との電位差によりイオンシース電界が形成される。なお、実施例2におけるイオンシース電界は、20Vであった。

【0031】パルス発振マイクロ波電源19は、間欠的にマイクロ波を発振しているため、マイクロ波のオン時間 $t_3$ 中はプラズマ電位と基板電位との電位差によりイオンシース電界が形成されるが、そのオフ時間 $t_4$ においてはプラズマが消滅するため、過渡的にプラズマ電位と基板電位との電位差が小さくなり、イオンシース電界が弱まる。従って、このオフ時間 $t_4$ の過渡応答中にプラズマ中の電子は自由に基板に入射することができるので、電子は微細パターン底面15まで到達し、微細パターン底面15の正電荷を中和することができる。

【0032】図6は、実施例2によるプラズマエッチング装置を用いて図19及び図20に示した $SiO_2$ 膜10上のSi膜11をエッチングした際に、これらの膜の界面に発生するノッチ量(図20中のA)のマイクロ波オフ時間依存性を示した線図である。図6から判るように、マイクロ波オフ時間 $t_4$ を長くすることにより、ノッチ量は減少し、オフ時間が0.02ミリ秒以上ではノッチは観察されなくなった。なお、この場合も実施例1と同様に、マイクロ波オン時間及びマイクロ波オフ時間の和である繰り返し周期( $t_3+t_4$ )は、0.1ミリ秒であった。また、図21に示したRFバイアスの印加によりノッチ量を減少させる従来のプラズマエッチング装置では、ノッチを無くすために選択比が20以下になってしまった。しかし、実施例2の場合では、図6に示すように、マイクロ波のオフ時間におけるプラズマの減衰を利用して間欠的にイオンシース電界を弱めてチャージアップを抑制しているため、イオンエネルギーが高まら



ず選択比は100で一定であり、間欠的ではなく連続的にマイクロ波を供給する場合と同じ選択比であった。

【0033】実施例3. 図7は、この発明の実施例3によるプラズマエッチング装置を示す概略構成図である。この図に示す装置は、従来のプラズマエッチング装置におけるコイル8の代わりに、2000ガウス(0.2 T)以上の磁場を発生できる強磁場コイル20を設けた\*

$$R = m_e v_r / q B$$

【0035】ここで、Rはラーマ半径、qは電子の電荷量、 $m_e$ は電子の質量、Bは磁束密度、 $v_r$ は磁力線に垂直な方向の電子の速度成分である。従って、 $v_r$ が同じ時には、磁束密度が大きくなる程ラーマ半径が小さくなる※

$$v = (8 k T_e / \pi m_e)^{1/2}$$

【0037】ここで、vは熱運動平均速度、kはボルツマン定数、 $T_e$ は電子温度である。例えば電子温度が5 eVの時、熱運動平均速度は約 $1.5 \times 10^{-6} \text{ m/s}$ となるので、共鳴位置で $v = v_r$ とすると、磁束密度が1000ガウス(0.1 T)では、ラーマ半径は $85 \mu\text{m}$ となり、磁束密度が10万ガウス(10 T)では、ラーマ半径は $0.85 \mu\text{m}$ となる。ここで、もし図9に示すように、ラーマ半径がパターンの間隔に比べて小さい時には、電子21がマスク材の側壁へ衝突する確率は減少し、パターンの疎密によるチャージアップの差は減少する。実際には、発散磁界中では、電子の運動量は磁力線方向に変換され、 $v_r$ は減少するため、ラーマ半径の縮小の効果はパターンの間隔よりも大きい時にも現れる。

【0038】図10は、共鳴点でのノッチ量の磁場強度依存性を示す線図である。この図から判るように、ノッチ量を低減する効果は、2000ガウス程度以上から顕著に現れる。なお、マイクロ波供給源としては、例えばクライストロン又はジャイロトロンを用いることによって、2000ガウス以上の磁場と共鳴する数GHz〜数千GHzのマイクロ波を発生させることが可能である。また、強磁場コイル20としては、常電導マグネット又は超電導マグネットを用い、数十Tまでの磁場を発生させることが可能である。

【0039】さらに、強磁場コイル20によって、間欠的に半導体ウエハ2上の磁場を10 T以上としても良い。すなわち、例えば2.45 GHzのマイクロ波に対し、電子サイクロトロン共鳴磁場である875ガウス(0.0875 T)の磁場を反応室1の内部に発生させておく。この定常状態の磁場に、半導体ウエハ2上での磁束密度が10 T(10万ガウス)以上になるような強力な磁場を間欠的に印加すると、電子軌道のラーマ半径が小さくなり、微細パターン底部15まで電子が到達する。これによって、微細パターン底部15の正のチャージアップを緩和し、異方性の高いエッチングを行うことができる。

【0040】実施例4. 図11は、この発明の実施例4によるプラズマエッチング装置を示す概略構成図であ

\*ものである。また、図8は、磁場中における電子の運動を模式的に示す模式図である。図8に示すように、運動する電子21は、ローレンツ力を受けて磁力線Bに巻き付くように進行する。この時の電子21の軌跡の回転半径はラーマ半径(Larmor radius)と呼ばれ、次の(1)式で表される。

【0034】

$$\dots\dots (1)$$

※る。また、電子温度と熱運動平均速度との関係は、次の(2)式で表される。

【0036】

$$\dots\dots (2)$$

る。この図に示す装置は、ステージ3の周囲にリング形状の強磁性体部材22を設けたものである。この強磁性体部材22は、例えばSmCo、Fe、Ni等の強磁性体材料で造られており、強磁性体部材22に向けて急激な発散磁界を形成することができる。従って、図12に示すように、コイル8により発生した磁力線Bは、強磁性体部材22により半導体ウエハ2の表面に形成されたイオンシース領域23上で半導体ウエハ2の中心から外側に曲げられる。従って、質量が小さく移動度が大きい電子は磁力線Bに沿って運動するので、半導体ウエハ2の表面に運ばれる電子の数は、従来装置に比較して少なくなる。

【0041】その結果、微細パターン側壁14における負のチャージアップは従来装置と比べて格段に減少し、ノッチ形成の発生を防止でき、異方性の優れたパターン形成を行うことができる。一方、正電荷を帯びた反応性イオンは、電子に比べて質量が大きく移動度が小さいため、磁力線Bの急激な曲がりに対応できず、シース電界により加速され、半導体ウエハ2に対して垂直に入射する。

【0042】実施例5. 図13は、この発明の実施例5によるプラズマエッチング装置を示す概略構成図である。この図に示す装置は、ステージの少なくとも半導体ウエハ2を載置する面を、NbSn等の超電導体で構成した超電導体ステージ24を備えたものである。この超電導体ステージ24は、真空二重配管等の保冷手段25により極低温に維持され超電導状態となる。例えば、超電導体ステージ24がNbSn製の場合、液体Heポット(図示しない)からHe蒸気を保冷手段25内に送り、18 K以下の極低温を維持して超電導体ステージ24を超電導状態を保つことができる。この時、超電導体ステージ24は超電導体特有のマイスナー効果により完全反磁性体となる。

【0043】従って、図14に示すように、コイル8で生じる磁力線Bは、半導体ウエハ2の表面で非常に急激に曲げられる。このため、上述した実施例4と同様に、質量が小さく移動度が大きい電子は磁力線Bに沿って運

動し、半導体ウエハ2の表面に運ばれる電子の数は従来装置に比較して少なくなる。その結果、微細パターン側壁14における負のチャージアップは従来装置と比べて格段に減少し、ノッチ形成の発生を防止でき、異方性の優れたパターン形成を行うことができる。一方、イオンは、電子に比べて質量が大きく移動度が小さいため、磁力線Bの急激な曲がりに対応できず、シース電界により加速され、半導体ウエハ2に対して垂直に入射する。

【0044】実施例6. 図15は、この発明の実施例6によるプラズマエッチング装置を示す概略構成図である。この図に示す装置は、図13に示した装置の保冷手段25に、ブロッキングコンデンサ26及びRF電源27を設けたものであり、超電導体ステージ24にRFバイアス電圧が印加されるようになっている。例えば、RF電源27により、13.56MHz、300W/m<sup>2</sup>程度の下地膜をエッチングせず、しかもシース電界を変化させないような弱い電力で、かつ間欠的にRFバイアス電圧を印加する。これによって、半導体ウエハ2が負になった時に微細パターン側壁14に正の電荷が供給され、負のチャージアップを電氣的に中和することができる。これにより、ノッチの発生をさらに防止し、異方性の良好なエッチングを行うことができる。

【0045】実施例7. 図16は、この発明の実施例7によるプラズマエッチング装置を示す概略構成図である。この図に示す装置は、ステージ3を囲む反応室1の壁部を、反磁性体部材28で構成したものである。この反磁性体部材28は、ピスマス又は超電導体等の反磁性体を含む部材である。コイル8で発生した磁力線Bは、反応室1の側壁方向に発散するが、反磁性体部材28の磁力線を退ける作用（マイスナー効果）により半導体ウエハ2の表面で磁力線Bを均一に、しかも半導体ウエハ2に対して垂直な方向に向けることができる。このため、イオンの進行方向は、半導体ウエハ2に入射する手前で垂直方向に修正されるので、充分な異方性エッチングを行うことができる。また、磁力線の発散を抑制することにより、プラズマ密度の均一性が向上するため、エッチングの均一性を向上させることができる。

【0046】なお、図17に示すように、図16に示した反磁性体部材28の代わりに反磁性体フォーカスリング29をステージ3上の半導体ウエハ2を囲むように設けても良い。この場合、反磁性体フォーカスリング29を上下動できるようにしておけば、磁力線の方向の微調整を行うことも可能で、異方性エッチングの最適化を図ることができる。

【0047】

【発明の効果】以上説明したとおり、請求項第1項に係る発明は、試料を載置するステージと、このステージを内部に収容する反応室と、マイクロ波を発生するマイクロ波発生手段と、このマイクロ波発生手段で発生したマイクロ波を上記反応室に導く導波管と、上記反応室内に

磁場を印加する磁場発生手段と、上記反応室内に反応性ガスを導入するガス導入管と、上記反応室内を排気する排気手段とを備え、電子サイクロトロン共鳴により上記反応性ガスのプラズマを形成し、このプラズマにより上記試料をエッチング処理するプラズマエッチング装置であって、上記試料にパルスバイアス電圧を印加するパルス電源を設けたので、微細パターン底面における正のチャージアップを中和してノッチの発生を防止すると共に、エッチングの選択比の向上を図ることができるという効果を奏する。

【0048】請求項第2項に係る発明は、試料を載置するステージと、このステージを内部に収容する反応室と、マイクロ波を発生するマイクロ波発生手段と、このマイクロ波発生手段で発生したマイクロ波を上記反応室に導く導波管と、上記反応室内に磁場を印加する磁場発生手段と、上記反応室内に反応性ガスを導入するガス導入管と、上記反応室内を排気する排気手段とを備え、電子サイクロトロン共鳴により上記反応性ガスのプラズマを形成し、このプラズマにより上記試料をエッチング処理するプラズマエッチング装置であって、上記マイクロ波発生手段として、パルス発振マイクロ波電源を使用したので、間欠的にイオンシース電界を弱めて微細パターン底面における正のチャージアップを抑制し、ノッチの発生を防止し選択比の高いエッチングを行うことができるという効果を奏する。

【0049】請求項第3項に係る発明は、試料を載置するステージと、このステージを内部に収容する反応室と、マイクロ波を発生するマイクロ波発生手段と、このマイクロ波発生手段で発生したマイクロ波を上記反応室に導く導波管と、上記反応室内に磁場を印加する磁場発生手段と、上記反応室内に反応性ガスを導入するガス導入管と、上記反応室内を排気する排気手段とを備え、電子サイクロトロン共鳴により上記反応性ガスのプラズマを形成し、このプラズマにより上記試料をエッチング処理するプラズマエッチング装置であって、上記磁場発生手段により2000 Gauss以上の磁場を発生させ、かつ数ギガヘルツ～数千ギガヘルツのマイクロ波を発生させるので、微細パターン底面における正のチャージアップを中和して、ノッチの発生を防止することができるという効果を奏する。

【0050】請求項第4項に係る発明は、試料を載置するステージと、このステージを内部に収容する反応室と、マイクロ波を発生するマイクロ波発生手段と、このマイクロ波発生手段で発生したマイクロ波を上記反応室に導く導波管と、上記反応室内に磁場を印加する磁場発生手段と、上記反応室内に反応性ガスを導入するガス導入管と、上記反応室内を排気する排気手段とを備え、電子サイクロトロン共鳴により上記反応性ガスのプラズマを形成し、このプラズマにより上記試料をエッチング処理するプラズマエッチング装置であって、上記ステージ



の周囲に、強磁性体部材を設けたので、微細パターン側壁における負のチャージアップが減少し、ノッチの発生を防止することができるという効果を奏する。

【0051】請求項第5項に係る発明は、試料を載置するステージと、このステージを内部に収容する反応室と、マイクロ波を発生するマイクロ波発生手段と、このマイクロ波発生手段で発生したマイクロ波を上記反応室に導く導波管と、上記反応室内に磁場を印加する磁場発生手段と、上記反応室内に反応性ガスを導入するガス導入管と、上記反応室内を排気する排気手段とを備え、電子サイクロトロン共鳴により上記反応性ガスのプラズマを形成し、このプラズマにより上記試料をエッチング処理するプラズマエッチング装置であって、上記ステージの少なくとも試料を載置する面を超電導体部材で構成し、この超電導体部材を所定の温度に冷却して超電導体状態とする冷却手段を設けたので、微細パターン側壁における負のチャージアップが減少し、ノッチの発生を防止することができるという効果を奏する。

【0052】請求項第6項に係る発明は、試料を載置するステージと、このステージを内部に収容する反応室と、マイクロ波を発生するマイクロ波発生手段と、このマイクロ波発生手段で発生したマイクロ波を上記反応室に導く導波管と、上記反応室内に磁場を印加する磁場発生手段と、上記反応室内に反応性ガスを導入するガス導入管と、上記反応室内を排気する排気手段とを備え、電子サイクロトロン共鳴により上記反応性ガスのプラズマを形成し、このプラズマにより上記試料をエッチング処理するプラズマエッチング装置であって、上記ステージを囲む上記反応室の側壁を、反磁性体部材で構成したので、プラズマ密度の均一性を向上でき、エッチングの均一性も向上させることができるという効果を奏する。

【0053】請求項第7項に係る発明は、試料を載置するステージと、このステージを内部に収容する反応室と、マイクロ波を発生するマイクロ波発生手段と、このマイクロ波発生手段で発生したマイクロ波を上記反応室に導く導波管と、上記反応室内に磁場を印加する磁場発生手段と、上記反応室内に反応性ガスを導入するガス導入管と、上記反応室内を排気する排気手段とを備え、電子サイクロトロン共鳴により上記反応性ガスのプラズマを形成し、このプラズマにより上記試料をエッチング処理するプラズマエッチング装置であって、上記ステージの側部に、反磁性体フォーカスリングを設けたので、プラズマ密度の均一性を向上でき、エッチングの均一性も向上させることができるという効果を奏する。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】この発明の実施例1によるプラズマエッチング装置を示す概略構成図である。

【図2】半導体ウエハの表面に形成されるイオンシース電界の電位を説明する線図である。

【図3】ノッチ量のパルス電圧オン／オフ時間比に対す

る依存性を示す線図である。

【図4】この発明の実施例2によるプラズマエッチング装置を示す概略構成図である。

【図5】半導体ウエハの表面に形成されるイオンシース電界の電位を説明する線図である。

【図6】ノッチ量のマイクロ波オフ時間に対する依存性を示す線図である。

【図7】この発明の実施例3によるプラズマエッチング装置を示す概略構成図である。

10 【図8】磁場中における電子の運動を示す模式図である。

【図9】ラーマ半径の小さい電子が微細パターン中に入射する状態を示す模式図である。

【図10】微細パターンにおけるノッチ量の磁場強度依存性を表す線図である。

【図11】この発明の実施例4によるプラズマエッチング装置を示す概略構成図である。

【図12】強磁性体部材により磁力線がイオンシース領域上で曲げられる状態を示す模式図である。

20 【図13】この発明の実施例5によるプラズマエッチング装置を示す概略構成図である。

【図14】半導体ウエハ上で磁力線が急激に曲げられる状態を示す模式図である。

【図15】この発明の実施例6によるプラズマエッチング装置を示す概略構成図である。

【図16】この発明の実施例7によるプラズマエッチング装置を示す概略構成図である。

【図17】この発明の実施例8によるプラズマエッチング装置を示す概略構成図である。

30 【図18】従来のプラズマエッチング装置を示す概略構成図である。

【図19】半導体ウエハ表面の微細パターンを示す拡大断面図である。

【図20】半導体ウエハ表面の微細パターンを示す拡大断面図である。

【図21】従来の他のプラズマエッチング装置を示す概略構成図である。

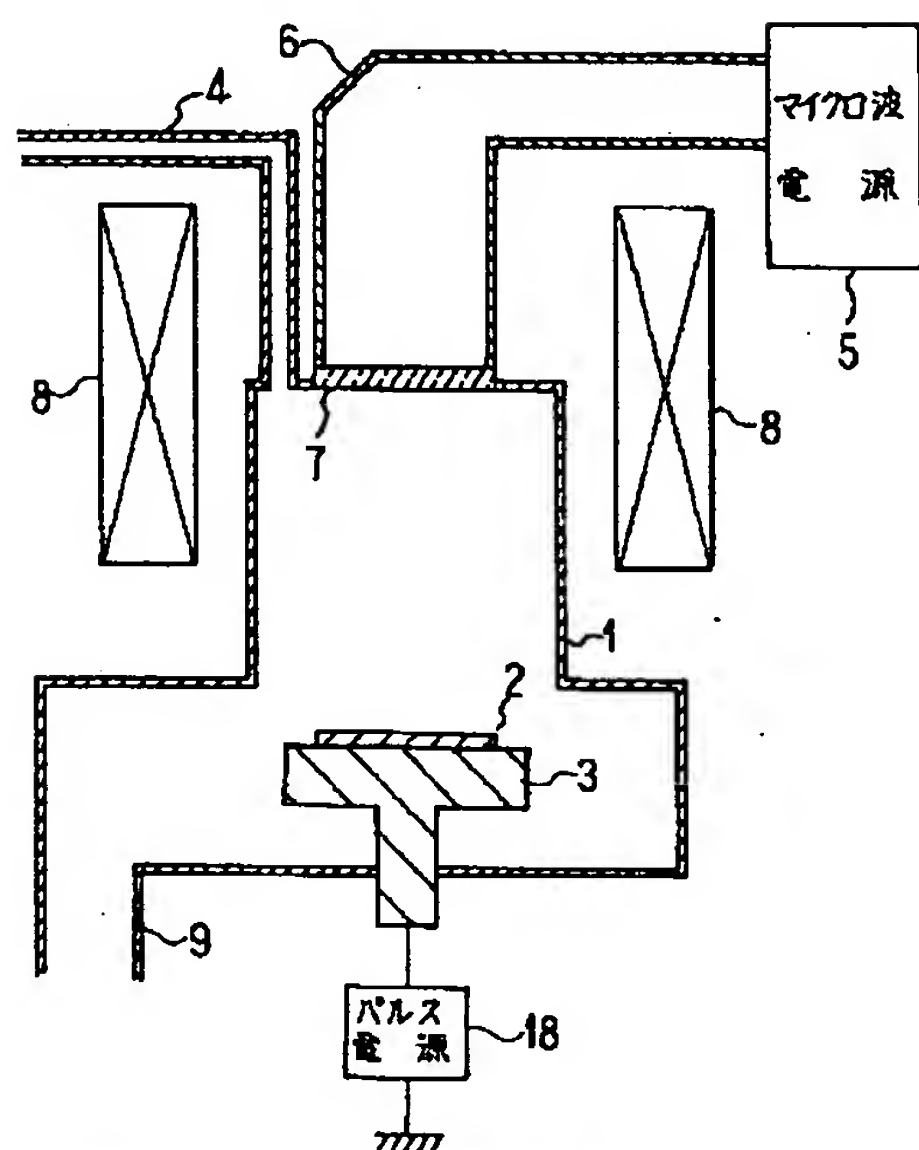
#### 【符号の説明】

- |    |                    |
|----|--------------------|
| 1  | 反応室                |
| 2  | 半導体ウエハ             |
| 3  | ステージ               |
| 4  | ガス導入管              |
| 5  | マイクロ波電源            |
| 6  | 導波管                |
| 7  | 石英窓                |
| 8  | コイル                |
| 9  | 排気口                |
| 10 | SiO <sub>2</sub> 膜 |
| 11 | Si膜                |
| 12 | レジストパターン           |

15

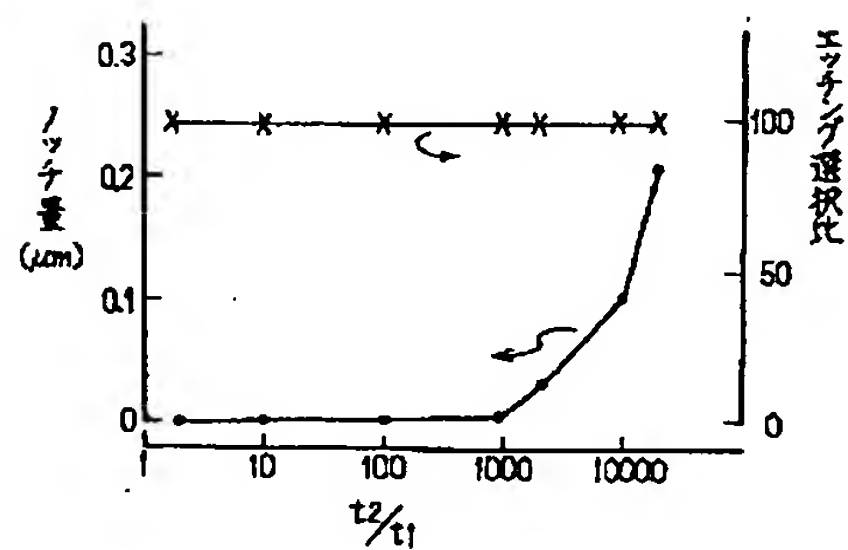
- 13 微細パターン
- 14 微細パターン側壁
- 15 微細パターン底面
- 16 インピーダンス整合器
- 17 RF電源
- 18 パルス電源
- 19 パルス発振マイクロ波電源
- 20 強磁場コイル
- 21 電子

【図1】



- 1: 反応室
- 2: 半導体ウェハ
- 3: ステージ
- 4: ガス導入管
- 5: マイクロ波電源
- 6: 導波管
- 7: 石英窓
- 8: コイル
- 9: 排気口
- 18: パルス電源

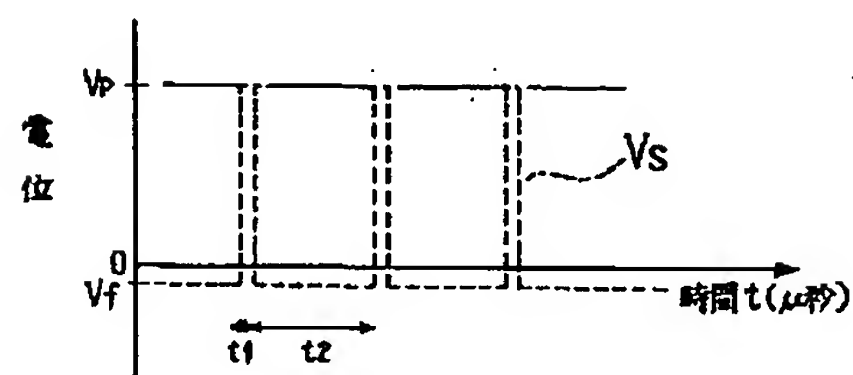
【図3】



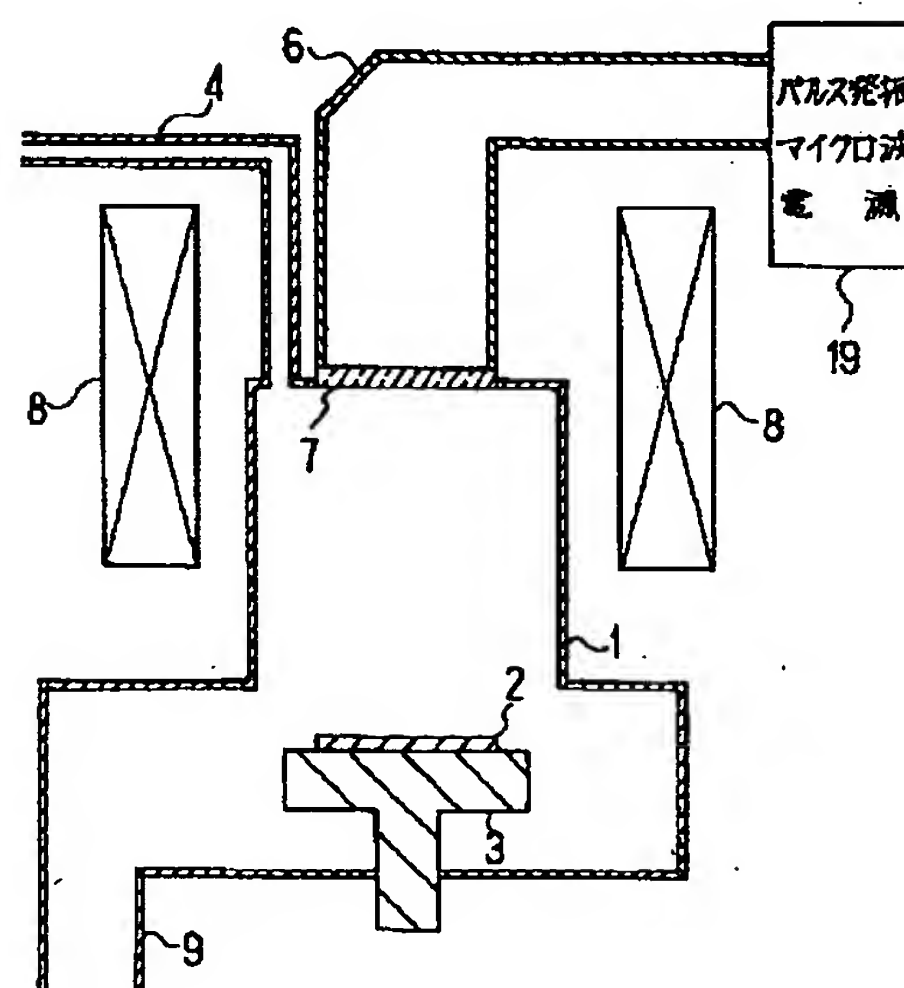
16

- 22 強磁性体部材
- 23 イオンシース領域
- 24 超電導体ステージ
- 25 保冷手段
- 26 ブロッキングコンデンサ
- 27 RF電源
- 28 反磁性体部材
- 29 反磁性体フォーカスリング

【図2】

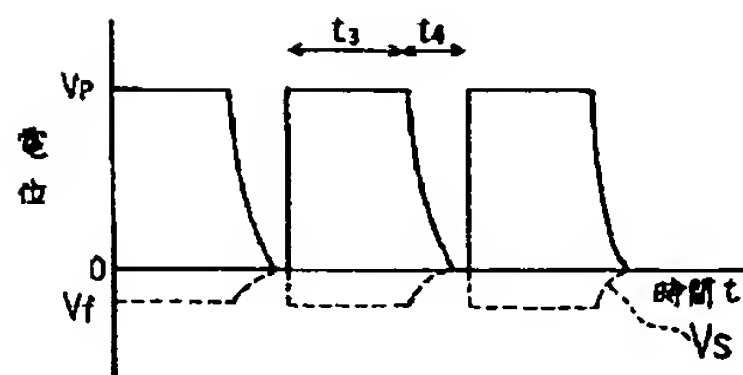


【図4】

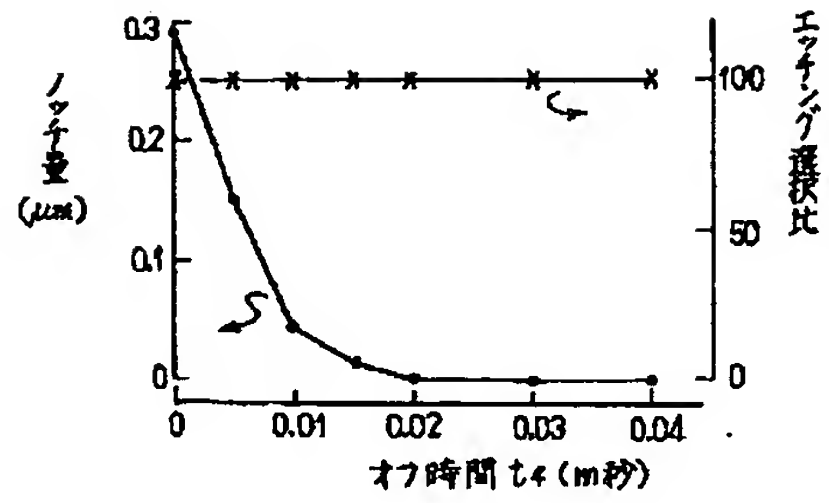


19: パルス発振マイクロ波電源

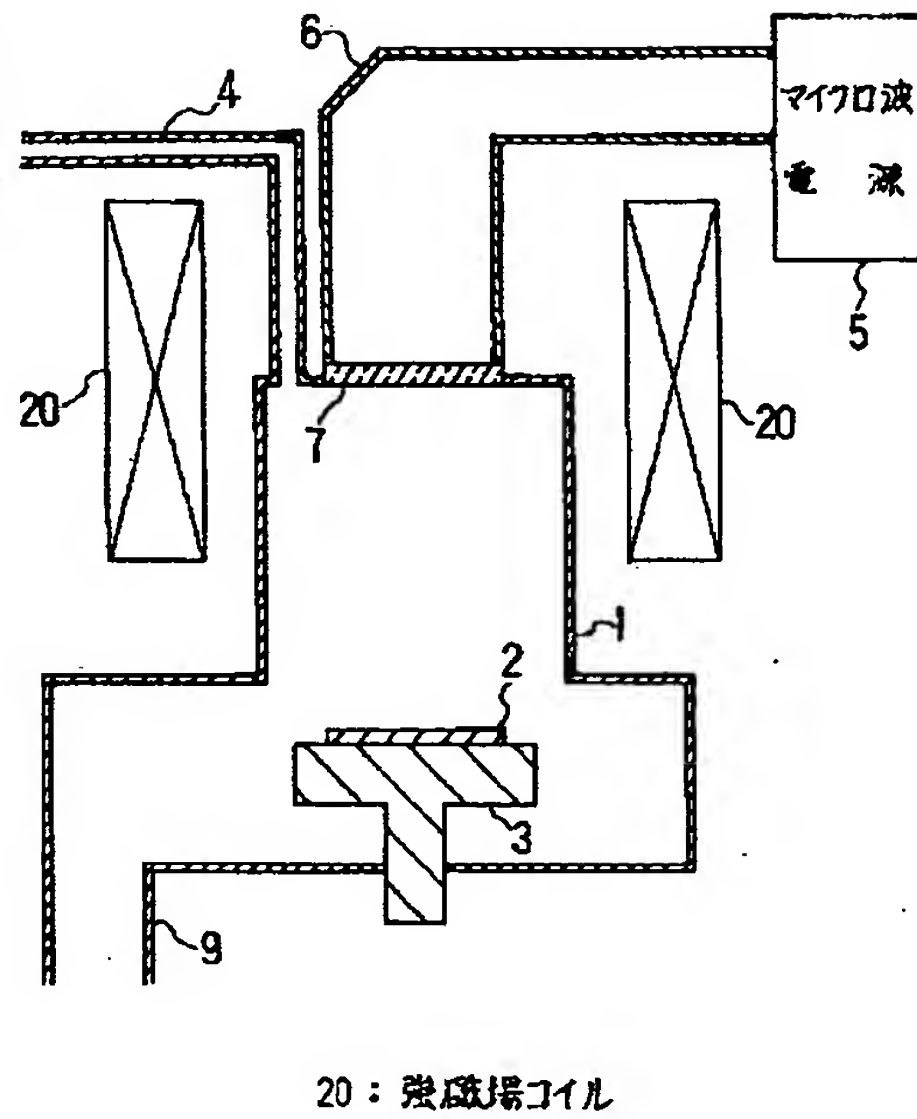
【図5】



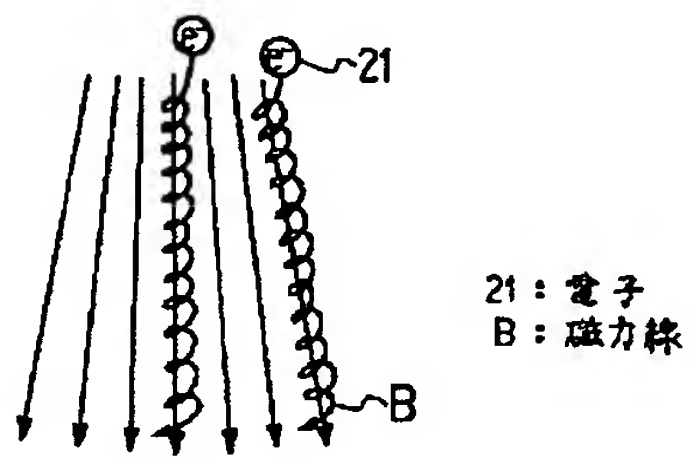
【図6】



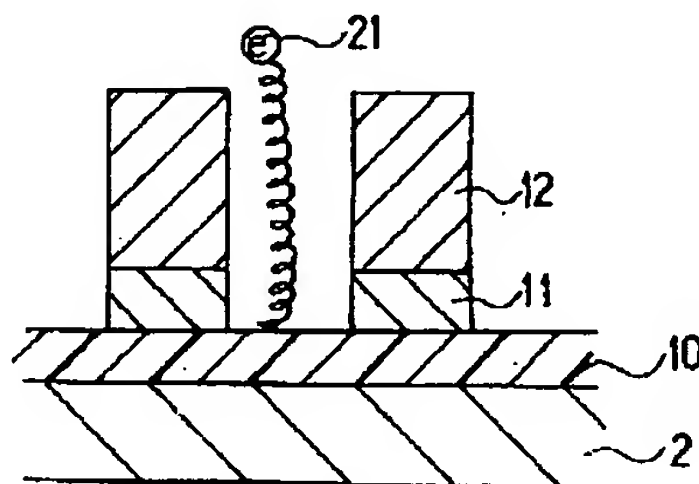
【図7】



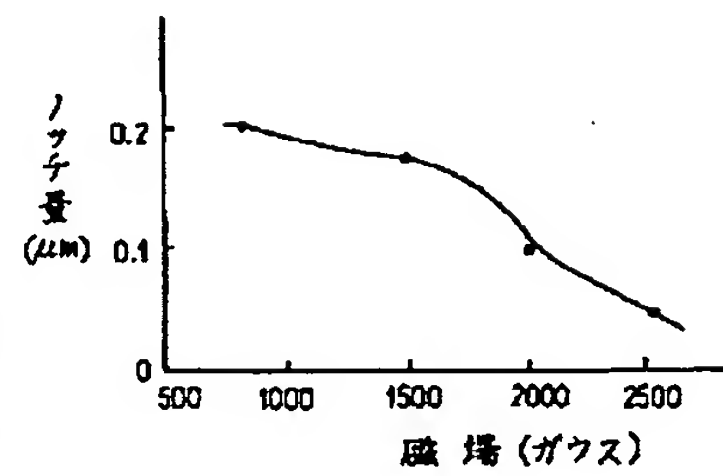
【図8】



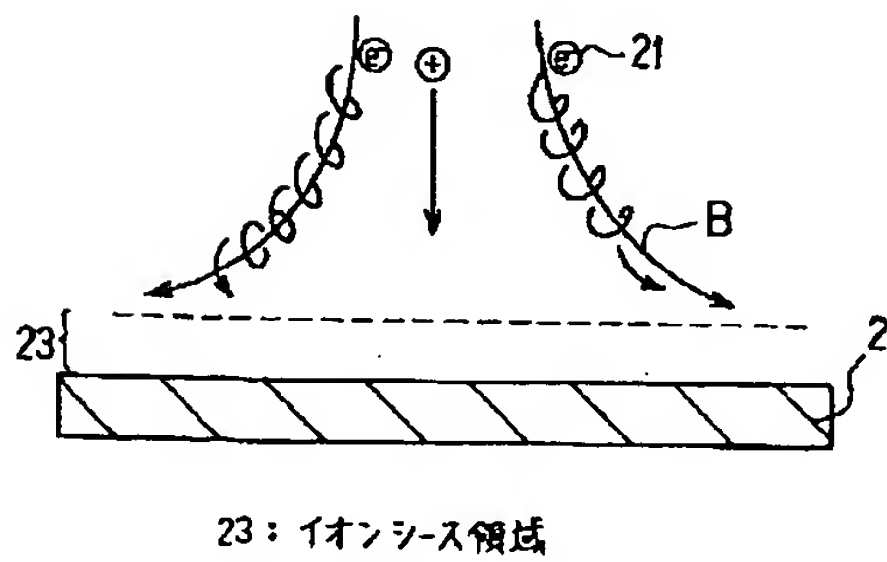
【図9】



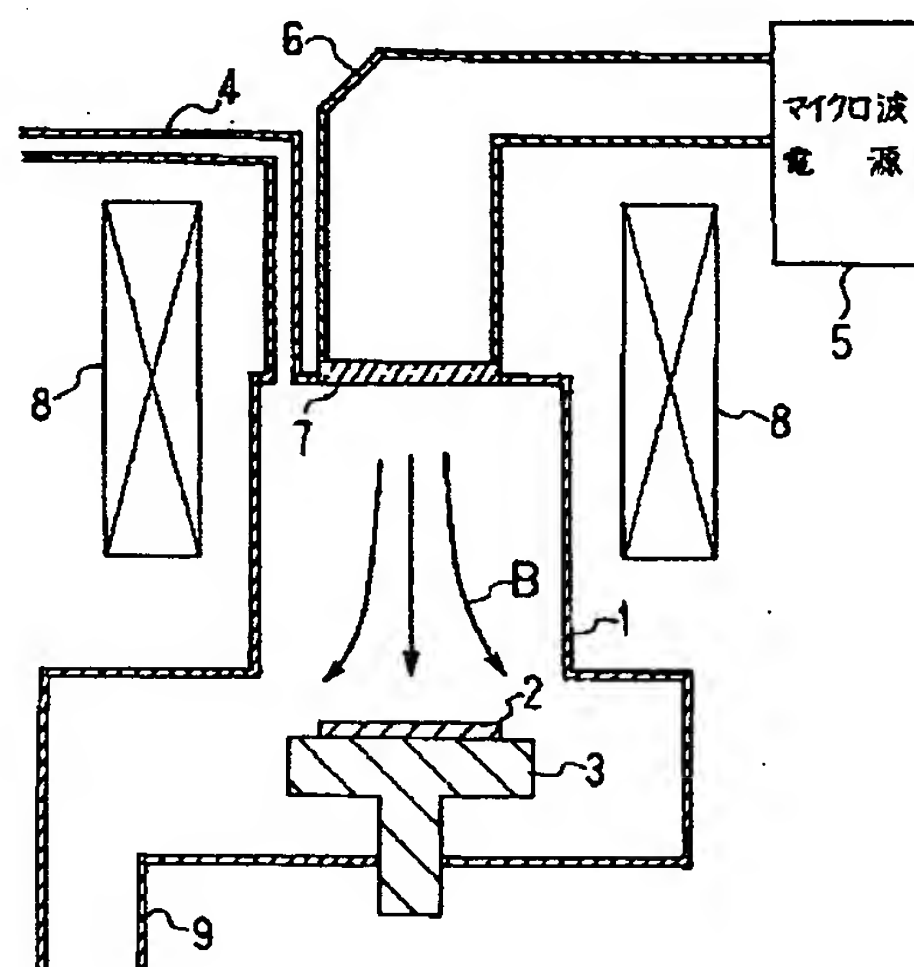
【図10】



【図12】

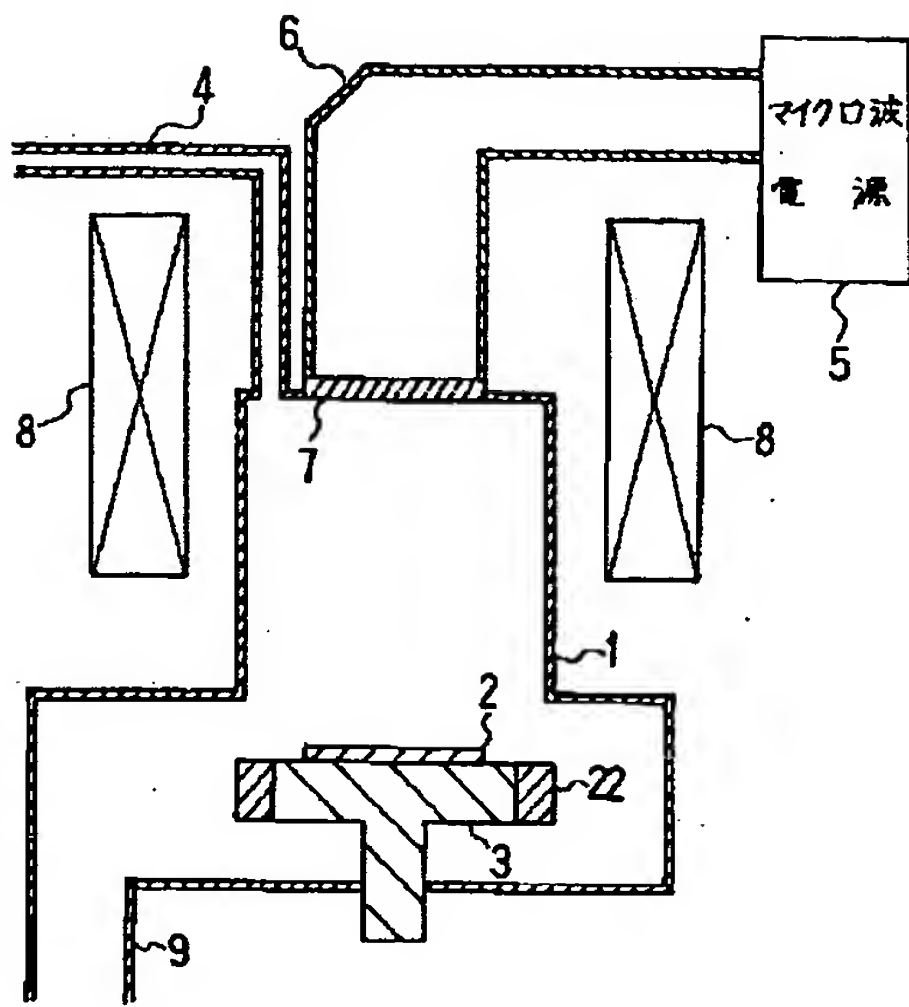


【図18】



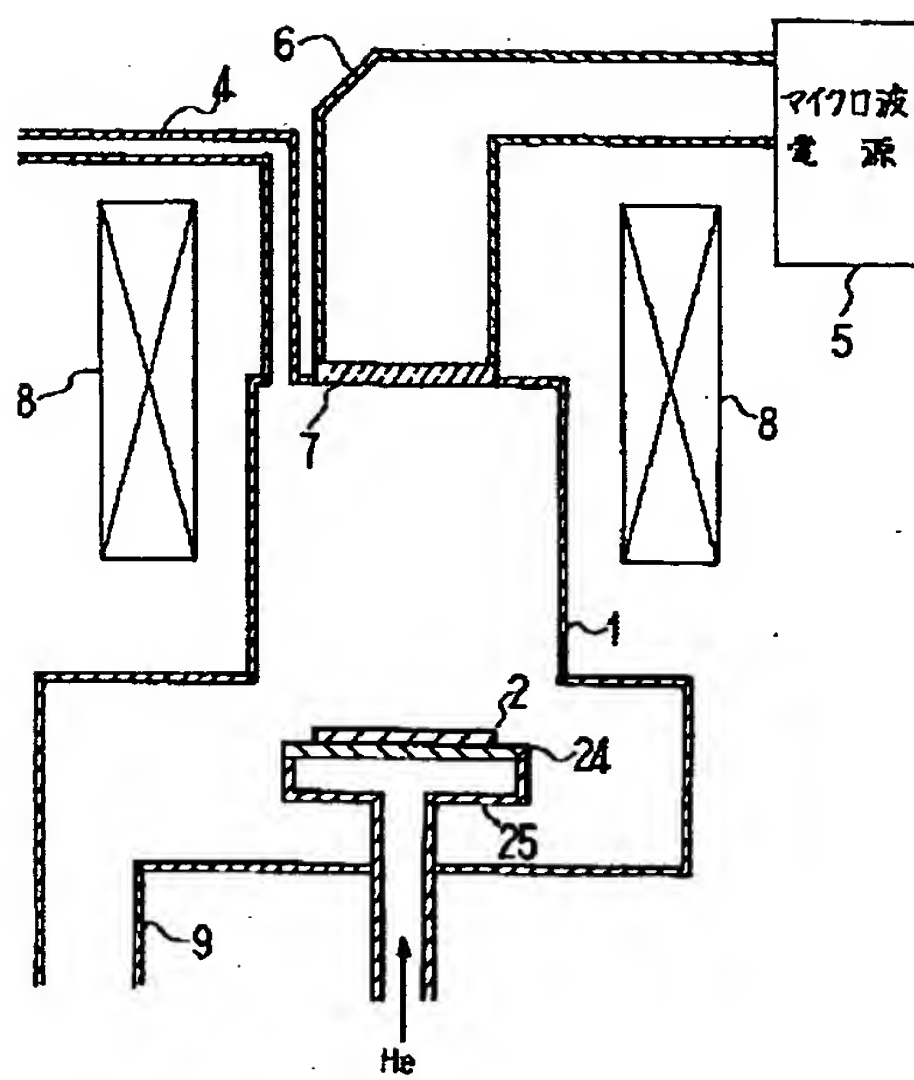


【図11】



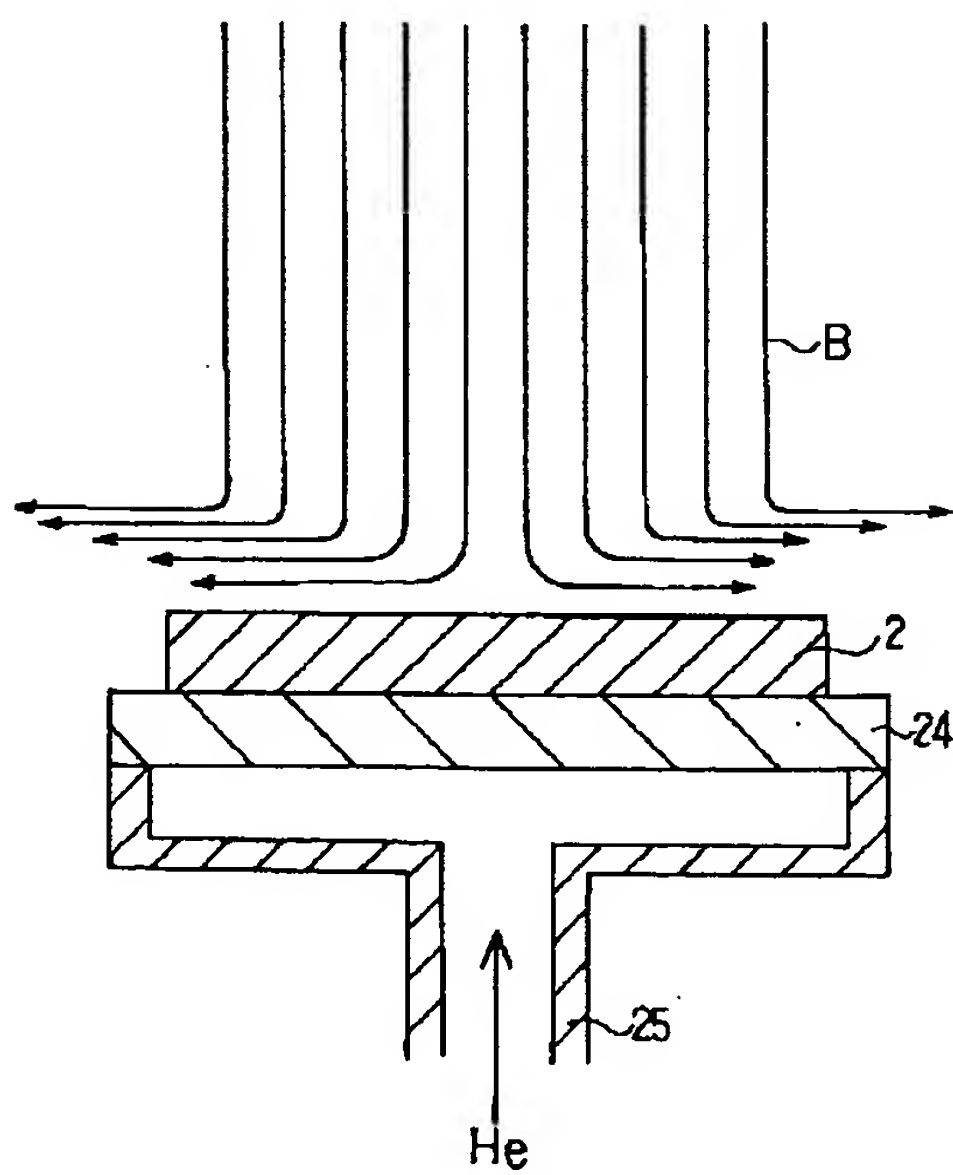
22: 強磁性体部材

【図13】

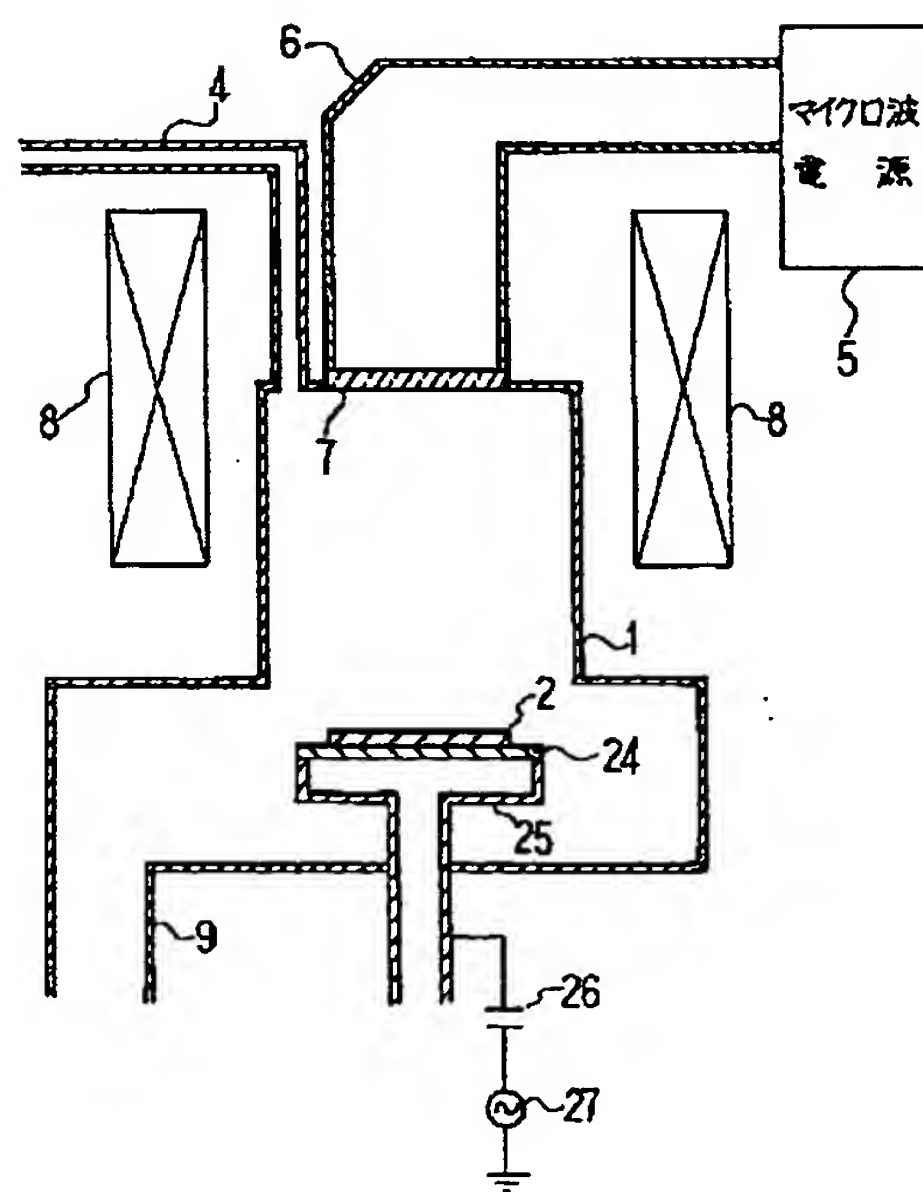


24: 超電導体ステージ  
25: 係冷手段

【図14】

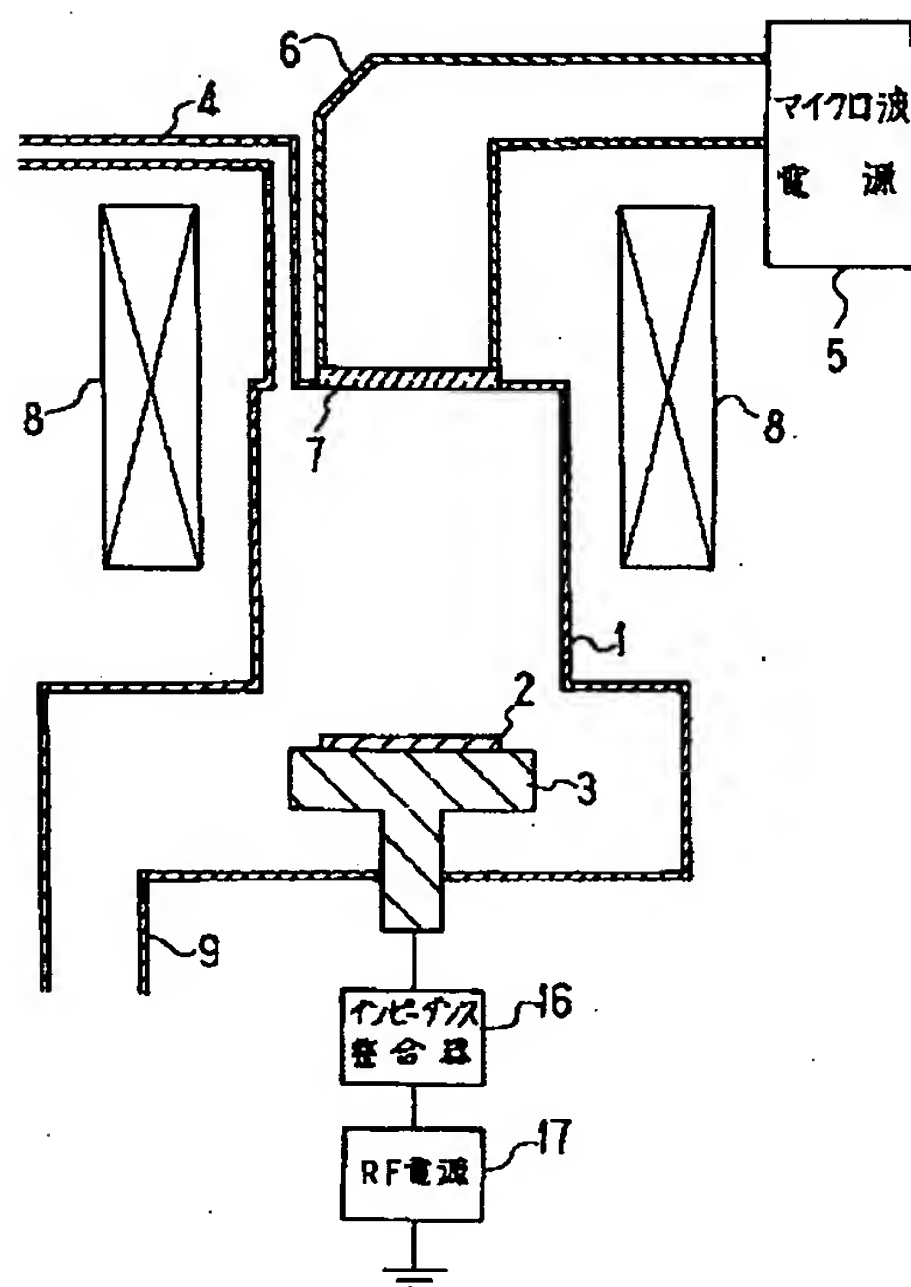


【図15】



26: ロッキングコンデンサ  
27: RF電源

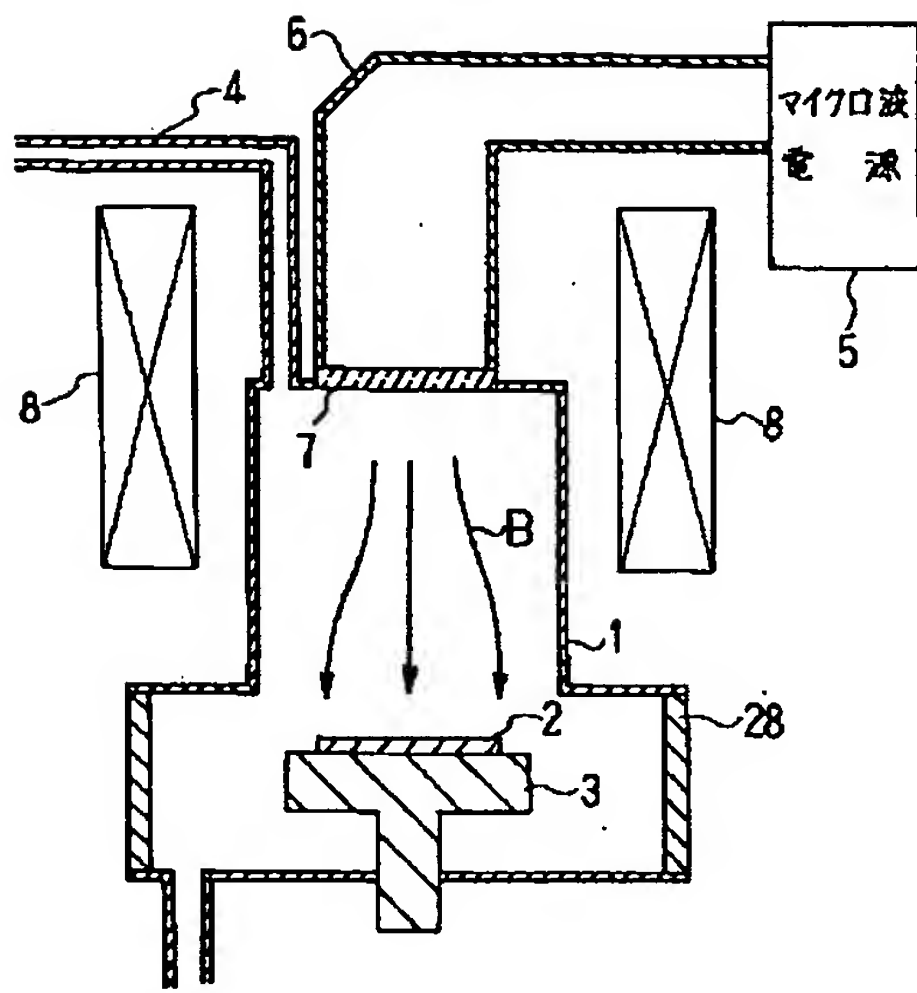
【図21】



フロントページの続き

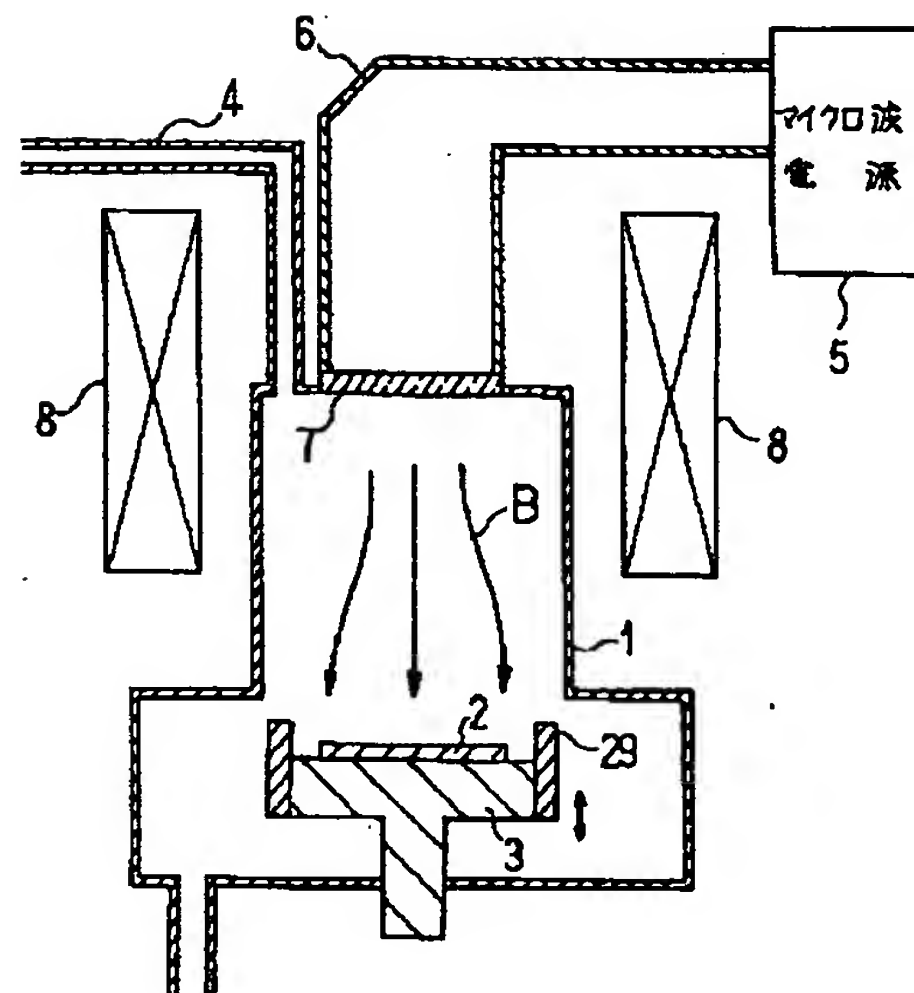
(72)発明者 星子 高広  
伊丹市瑞原4丁目1番地 三菱電機株式会  
社エル・エス・アイ研究所内

【図16】



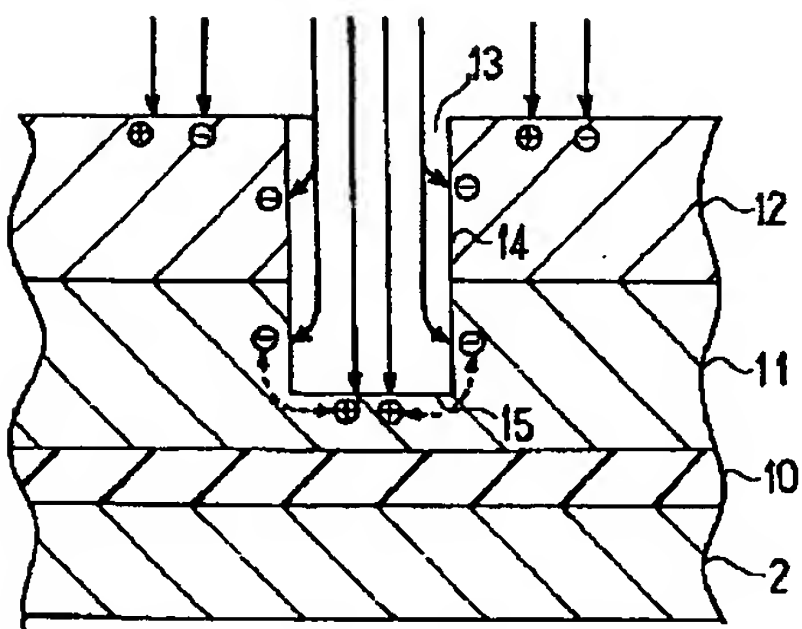
28: 反磁性体銅材

【図17】



29: 反磁性体フォーカスリング

【図19】



【図20】

